

# 多目的LPG船用TS530N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼

## 530N/mm<sup>2</sup> Tensile Strength Grade Steel Plate for Multi-Purpose Gas Carrier

永原 政明<sup>\*(1)</sup>  
Masaaki NAGAHARA

深水 秀範<sup>\*(2)</sup>  
Hidenori FUKAMI

### 抄 録

多目的LPG船用タンクに適用できるTS530N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼を開発した。開発鋼は、HTUFF<sup>®</sup>、Tiオキサイド技術等のHAZ靱性向上技術とCLCプロセスにより、従来TS490N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼より高強度でありながら、母材、HAZ部ともに優れた低温靱性を有している。

### Abstract

The TS530N/mm<sup>2</sup> grade steel plate applicable to the tank for multi-purpose gas carriers was developed. This developed steel plate has the toughness excellent in base metal and HAZ according to improvement technology in HAZ toughness, such as HTUFF<sup>®</sup> and Ti oxide technology, and CLC process, though it is strength higher than TS490N/mm<sup>2</sup> grade steel plate.

### 1. 緒 言

近年、液化アンモニアを混載する多目的LPG船が増加しつつあり、そのタンクに使用される低温用鋼には、通常のタンク用鋼に要求される性能に加え、アンモニア応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking, 以下SCCと略す)を防止する性能が要求される。液化ガスを運搬する船舶の構造、設備に関する国際規則であるIGCコード<sup>1)</sup>では、耐SCCからアンモニアタンクに使用される低温用鋼の母材の降伏点(YP)、または耐力(YS)を440N/mm<sup>2</sup>以下に規制している。

また、液化ガスの輸送効率の向上を目的としたタンクの大型化やタンク内部の高圧力化に伴い、低温用鋼には従来のTS490N/mm<sup>2</sup>級よりも高い強度が求められている。

これらのニーズに応えるために、新日本製鐵では溶接熱影響部HAZ細粒高靱化技術(Super High HAZ Toughness Technology with Fine Microstructure impacted by Fine Particles, 以下HTUFF<sup>®</sup>と略す)、Tiオ

キサイド技術等のHAZ靱性向上技術とCLCプロセス(Continuous On Line Control Process)により、溶接性に優れ、耐アンモニアSCC特性を備えたTS530N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼を開発した。表1にYS 355N/mm<sup>2</sup>、設計温度 - 48 仕様の液化アンモニア混載型LPG船タンク用低温用鋼の要求性能例を示す。IGCコードの設計指針で、設計応力は鋼材の引張強さ(TS)下限 × 1 / 3、またはYS下限 × 1 / 2の小さい方を採用する必要があり、ここではTS530N/mm<sup>2</sup>級と仮置きした。

本報では、このTS530N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼の材質特性について述べる。

### 2. TS530N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼の諸特性

#### 2.1 化学成分及び製造方法

表2を例とした化学成分を有する開発鋼の諸特性を下記に示す。開発鋼は、溶接継手部で試験温度 - 68 における靱性を安定して確保するために、HTUFF、Tiオキサイド技術等のHAZでの有効結晶粒径を微細化する技術を適用している。また、HAZでの破壊の起点となる島状マルテンサイトの生成を抑制しつつ、CLCプロセスにてTS530N/mm<sup>2</sup>以上の母材強度を確保するために、C、Si、Mn、Cu、Niの調整を行っている。CLCプロセスでは、母材TS530N/mm<sup>2</sup>以上を確保しつつ、母材YSを355 ~ 440N/mm<sup>2</sup>の範囲にコントロールし、更に試験温度 - 68 ~ - 53 における靱性を安定して確保するために、加熱、圧延、および冷却の条件を厳格に管理している。

#### 2.2 母材の機械的性質

表3に板厚40mmにおける開発鋼の母材の引張、衝撃試験結果の例を示す。開発鋼は十分なTSを有すると同時に、YSも要求範囲に

表1 要求性能例  
An example of a demand performance

Tensile test		Charpy impact test		
YS (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	Thickness t (mm)	Test temp. ( )	Energy (J)
355/440	533/610	t 25	- 53	Transvers Ave. 27 Min. 19
		25 < t 30	- 58	
		30 < t 35	- 63	
		35 < t 40	- 68	

<sup>\*(1)</sup> 大分製鐵所 生産管理部 マネジャー  
大分県大分市大字西ノ洲1番地 〒870-0992 TEL:(097)553-2381

<sup>\*(2)</sup> 欧州事務所 マネジャー (元 君津製鐵所 厚板工場 マネジャー)

表2 開発鋼の化学成分例  
The example of the chemical compositions of development steel plates

Steel	C	Si	Mn	P	S	Others	Ceq	Treatment
A	0.08	0.23	1.42	0.006	0.002	Cu, Ni, Nb, Ti, Ca	0.34	HTUFF
B	0.08	0.18	1.53	0.005	0.003	Cu, Ni, Nb, Ti	0.38	Ti-O

$Ceq = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$

表3 開発鋼の機械的性質例  
The example of the mechanical properties of development steel plates

Steel	Thickness (mm)	Tensile test		Charpy impact test
		YS (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	$\sqrt{E_{-68}}$ Ave./Min. (J)
A	40	386	577	258/168
B	40	374	583	226/222

適合している。また、試験温度 - 68 の平均吸収エネルギーが200Jを超えており、良好な低温靱性を有している。

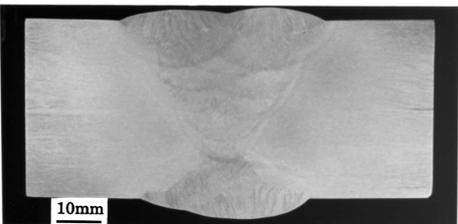
2.3 継手性能

(1) 溶接継手のシャルピー衝撃試験結果

板厚40mmの開発鋼を用いて、表4に示す溶接施工条件でサブマージアーク溶接(SAW)を行い、溶接継手の靱性を評価した。その結果の例を図1に示す。フュージョンライン(FL)を含むHAZ全てのノッチ位置において、-68 の平均吸収エネルギーは100Jを超えており、開発鋼のHAZの靱性は良好である。

表4 溶接条件の一例  
An example of welding condition

Welding method	Thickness (mm)	Welding material	Welding conditions
SAW (Double V groove)	40	Wire : Y-3Ni (4.8mm) Flux : NB55LS	Current : 750A Voltage : 32V Speed : 30cm/min Heat input : 48kJ/cm



Macrostructure of welding joint

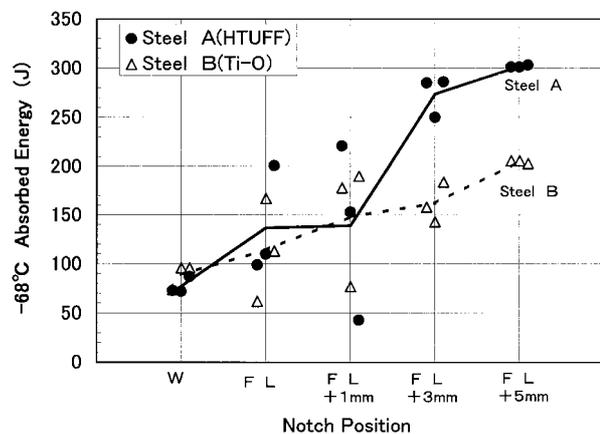


図1 SAW継手部のシャルピー衝撃試験結果  
Charpy impact test results of SAW welded joints

(2) 破壊靱性評価結果

これらの継手部の破壊靱性を評価するために中央切欠(フュージョンラインの位置に0.1mm幅の機械切欠)付広幅引張試験を行った。その結果の例を図2に示す。設計温度の - 48 で、6000N $\sqrt{mm}$ /mm<sup>2</sup>以上のK<sub>IC</sub>値を示している。

また、CTOD試験(切欠位置はフュージョンライン)による破壊靱性の評価も行った。その結果の例を図3に示す。ここでは被覆アーク溶接(SMAW)継手部の破壊靱性も評価している。いずれも設計温度の - 48 で、限界CTOD値が0.2mm以上であり、溶接構造物の安全性の目安とされる限界CTOD値の下限である0.1mmを上回っている。

(3) 溶接継手部の硬さ分布測定結果

溶接継手部の硬さ分布測定結果の1例を図4に示す。HAZ、母材のHV(98N)が200以下であり、樹本により提案されているSCCを抑制する硬さ上限の目安であるHV(98N)≧10を下回っている<sup>2)</sup>。

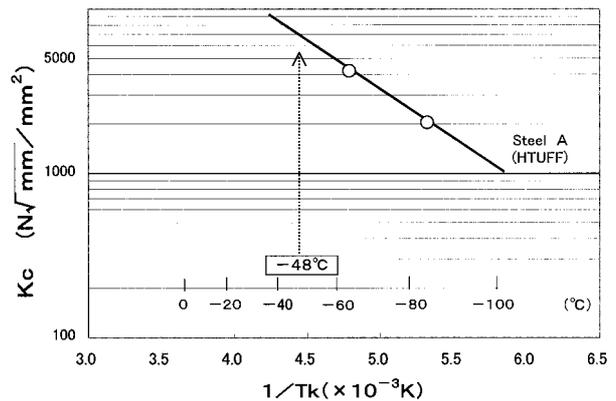


図2 SAW継手部の中央切欠付広幅引張試験結果  
Center deep notch test results of SAW welded joints

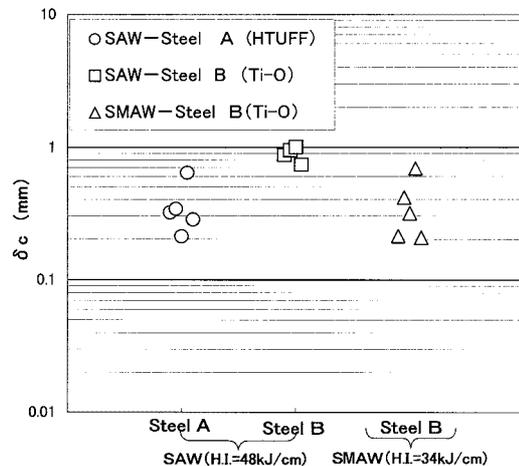


図3 溶接継手部のCTOD試験結果  
CTOD test results of welded joints

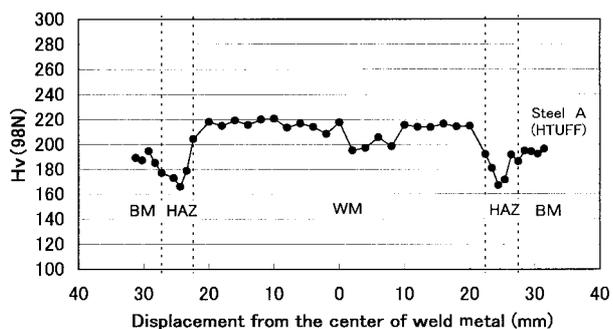


図4 溶接継手部の硬さ分布  
Hardness distribution of SAW welded joints

参考文献

- 1) International Marine Organization: The IMO International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk, IGC Code. 1995
- 2) 榎本弘毅: 液化アンモニア中での溶接構造用鋼の応力腐食割れ. 压力容器. 18(6), (1980)
- 3) 西村勝好 ほか: 大型Bi-lobeタイプLPGタンク構造の開発. 三井造船技報. 167(6), (1999)

3. 結 言

液化アンモニア混載型LPG船用タンクへの適用を目的に、TS530N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼を開発した。本開発鋼は、HTUFF、Tiオキサイド等のHAZ韌性向上技術とCLCプロセスにより、従来のTS490N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼より高強度でありながら、優れた低温韌性を有し、且つYSを440N/mm<sup>2</sup>以下にコントロールした鋼板である。

本開発鋼は、既にBi-LobeタイプのLPGタンク用鋼材として適用実績を有している<sup>3)</sup>。